

## Метаморфна асимилация на офиолити при с. Жерка, Източни Родопи

*Евгения Кожухарова*

Kozhuharova, E. 1998. The metamorphic assimilation of ophiolites in the Zherka region, Eastern Rhodopes - *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 34, 125-143

**Abstract.** The Rhodope Ophiolitic Association of Precambrian age is widespread in the Rhodope Massif. Its ultramafic and mafic components had been altered under different metamorphic conditions and as a result pyroxenites, eclogites, talc-chlorite-actinolite schists, various amphibolites and metasomatic gabbrodiorites were formed. In the Eastern Rhodope block, near the village of Zherka, Zlatograd region, several small bodies of pyroxenites outcrop. They are embedded concordantly amongst the amphibolite layers. The pyroxenite bodies show specific zonation. At their central parts a relic mineral assemblage, consisting of enstatite and clinopyroxene (augite or diopside), spinel and anthophyllite is preserved. The peripheral parts of the bodies have been replaced by talc-chlorite-actinolite schists and magnesiohornblende schists. Numerous pegmatite-aplite migmatitic injections and branched veins had penetrated the ophiolites. At the contact between pegmatites and ophiolites some metasomatic reactions took place. Chemical interaction between the rocks of contrast composition resulted in hybrid rocks, consisting of edenite, plagioclase of variable composition (oligoclase, labradore, anorthite), epidote, augite, phlogopite, titanite, orthite, magnetite, etc. The rocks are of coarse-grained structure and some of them look like magmatic gabbroids.

The host amphibolites had been subjected to similar changes. They had been migmatized and feldspatized and also transformed into metasomatic gabbrodiorites, consisting of edenite or magnesioargasite, plagioclase (oligoclase, andesine, labradore), epidote, titanite, orthite, biotite, magnetite. The pegmatites are desilicated.

The genesis and age of pegmatite-aplites are debatable. The first generation of migmatitic interlayer injections seems to be of regional metamorphic character, possibly of Precambrian age, while the second generation of cutting branched veins are probably connected with the Hercinian granitoid magmatism. The pegmatitization and partial assimilation of the Precambrian Rhodope Ophiolitic Association is one stage of its continued metamorphic evolution, marked by intensive mineral and chemical transformations of rocks.

A third generation of pegmatite veins, had cut the completely consolidated metamorphic terrain. They are linear, with sharp contacts and had not affected the ophiolites. Most probably they are related to the Alpine magmatic activity.

*Key words:* ophiolites, metamorphism, metasomatism, Rhodope massif

*Address:* Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria

*Ключови думи:* офиолити, метаморфизъм, метасоматизъм, Родопски масив

*Адрес:* Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София

## Въведение

Асимилацията на офиолитовите скали в земната кора в условията на регионален или контактен метаморфизъм е широко проявен процес, но сравнително рядко разглеждан в геоложката литература. Поради недостатъчната информация, понякога силно променени офиолитови метаморфни продукти, прекристализирали в едрозърнести скали с масивна текстура, погрешно се приемат за разновидности на базични магматити.

В статията се разглежда един характерен и илюстративен случай на асимилация на офиолитови базични и ултрабазични тела от Родопския масив, вследствие въздействието на пегматит-аплитовите диференциати, свързани с мигматизацията и гранитовия магматизъм. Подобни прояви са установени също в контактния ореол на Западно-родопския батолит (Кожухарова, 1977), Белоречкото подуване (Кожухарова, 1984; Kozhoukharova, 1997), Рила планина и другаде. Пегматитизацията на офиолитите бележи крайния етап от продължителната и многофазова метаморфна преработка. В резултат на същественото изменение на техния минерален състав, химизъм и структура, офиолитите се трансформират в метасоматични продукти с габроиден или диоритоиден състав. Статията третира предимно веществените изменения на офиолитовите скали, без да представя обстойно данните за термобарометричната еволюция на метаморфизма.

Целта на изследването е да изясни генетичния характер на метасоматичните габродиоритоиди и характеризира един важен момент от метаморфната еволюция на офиолитовите асоциации, какъвто е асимилацията на ултрабазичните и базичните съставки при метаморфизма в земната кора.

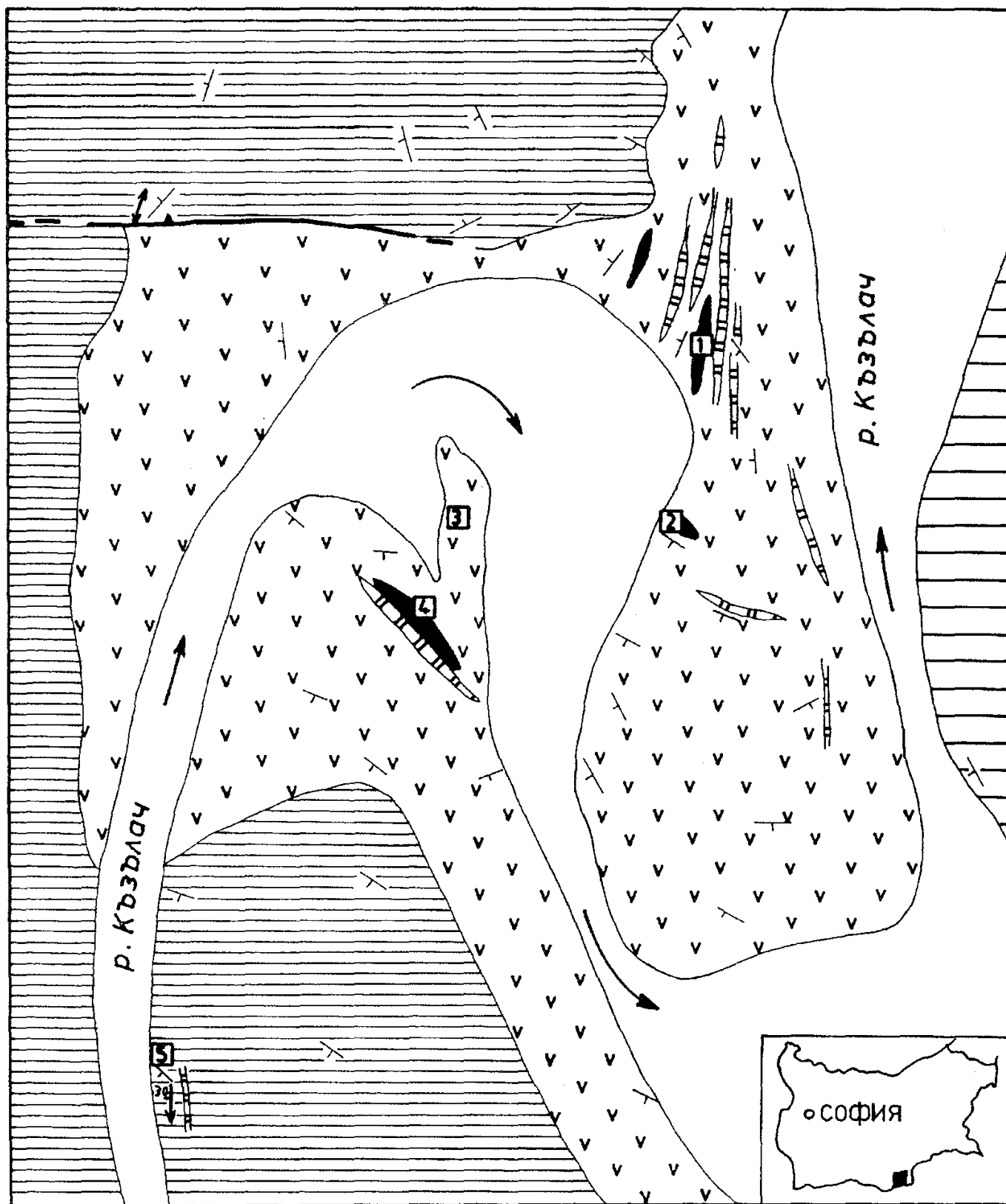
## Геоложка обстановка

Родопската метаморфозирана офиолитова асоциация е широко разпространена в целия Родопски масив. Нейният произ-

ход се свързва с обдукция на фрагменти от океанска кора върху активния край на древен континент (Кожухарова, 1984), последният представен днес от инфракрусталния комплекс на Прародопската надгрупа. Покрити от пелитово-карбонатни седименти, метаморфозирани и нагънати заедно с тях, метаофиолитите, трансформирани в пироксенити, еклогити, актинолит-хлоритови шисти и амфиболити, заемат най-ниските стратиграфски нива на Родопската надгрупа (Kozhoukharova, 1996).

В разглеждания район, Родопската метаморфозирана офиолитова асоциация се разкрива в западния борд на Крумовградската антиклинала, в околностите на селата Домище и Жерка, Златоградски район, където тя асоциира със скалите на Чепеларската свита от Родопската надгрупа (Кожухаров, 1993). Тук Чепеларската свита е представена частично само от амфиболити и биотитови шисти с кианит, които покриват лептитоидни гнайси от Прародопската надгрупа (фиг. 1). Сред амфиболитовите пластове лежат конкордантно няколко малки лещообразни тела от метаморфни пироксенити. Никъде в района не се срещат серпентинити, но тяхното предишно присъствие се предполага по наличието на метаморфните им аналози- пироксенити, антофилитови, актинолитови и хлоритови шисти.

Регионалният метаморфизъм и пегматитовите жили, предизвикват съществени структурни, минераложки и геохимични изменения. Те са особено изразителни при прякото съприкосновение на офиолитите с контрастните по състав пегматити. Сред последните се различават три генерации: 1) Послойни мигматични жили. 2) Сноп от пегматитови жили, с преобладаваща посока север-юг, разклонени мрежесто в зона на пегматитово насищане, пресичат косо и послойно пластове и гънковите структури, заграват и видимо активно взаимодействуват с включените сред тях ултрабазични и базични късове. 3) Късни секущи пегматитови жили с посока югозапад-североизток, с праволинеен характер,



Фиг. 1. Геоложка карта на участък Жерка: 1 - алувий; 2 - биотитови шисти; 3 - амфиболити; 4 - будини от масивни амфиболизирани пироксенити; 5 - пегматитови жили; 6 - гнайси; 7: - а) тектонска зона, б) елементи на залягане на пластове; 8 - гънки: а) полегнали, б) вертикални; 9 - място и номер на зарисовки

Fig. 1. Geological map of the Zherka region: 1 - alluvium; 2 - biotite schists; 3 - amphibolites; 4 - boudin of amphibolized pyroxenites; 5 - pegmatite veins; 6 - gneisses; 7: - a) tectonic zone, b) position of beds; 8 - folds: a) inclined, b) vertical; 9 - location and number of drafts

резки контакти и липса на реакционни отношения с вместиращите скали.

Основните метаофиолитови петрографски разновидности, които бележат фазите на изменение при ултрабазитите, са: пироксенити, амфиболизирани пироксенити, пегматизирани амфиболошисти и метасоматични габроиди, а при базичните офиолити: амфиболити с реликтови минерали, обикновени амфиболити, мигматизирани амфиболити и метасоматични диоритоиди. Серия от скални проби, взети по профили от зоналните пироксенитови тела, характеризират химичните изменения в скалите (табл. 1). Химичният състав на главните скалообразуващи минерали е определен с 220 микросондови анализа, от които тук са предоставени само 12 представителни образца (табл. 2 и 3). Съставът на амфиболите е преизчислен по Програма "Recamp", създадена по класификацията на Leake (1978), а видовата им принадлежност е определена по актуализираната класификация на Leake et al. (1997). За пироксените е използвана номенклатурата на Morimoto et al. (1988).

## Метаморфозирани ултрабазични офиолити

### *Пироксенити*

Те формират лещообразни или яйцевидни тела с дължина от 1-2 до 5-6 m и ясно изразен реакционен зонален строеж (фиг. 2 и 3). В центъра на телата те са дребно- до едрозърнести, с масивна текстура и сивозелен цвят. В крайните им части, пироксенитите са амфиболизирани, а в зоните на пегматизация, заместени от едрозърнести амфиболошисти и метасоматични габроиди. Съставени са от: ромбичен пироксен - енстатит, моноклинен пироксен - диопсид или авгит, антофилит и шпинел.

Енстатитът -  $\text{En}_{77-84}$  е едрозърнест (1-10 mm), късопризматичен, сивозелен до тъмно сиворозов, с метален отблясък; безцветен или слабо розов под микроскопа,  $\alpha$  1,672,  $\gamma$  1,685;  $2V_{\gamma}$  68-70°. Съ-

държа хром до 0,035. Прораства с антофилит. Носи следи от структурни деформации, изразени в блоково мозаично потъмнение на отделни домени и разместване на цепителните линии. Съдържанието на енстатит при различните тела варира от 20 до 65% Моноклинният пироксен по-често е високомагнезиев авгит  $\text{Wo}_{28}\text{En}_{62}\text{Fs}_{10}$  с 0,03 Na. Той е дребнозърнест, деформиран и замътнен. Количеството му е около 5-6%. В някои тела пироксенът се представя от диопсид-  $\text{Wo}_{49-50}\text{En}_{35}\text{Fs}_{15}$ .

Антофилитът е едрозърнест, с дългопризматичен до иглест хабитус,  $\alpha$  1,609,  $\gamma$  1,632;  $2V_{\alpha}$  79-80°. Съдържа много ориентирани срастъци от магнетит. Количеството му варира от 20 до 50%, но в някои тела образува почти мономинерални сегрегации по отделни зони в пироксенита.

Шпинелът присъства като включение в ортопироксена и антофилита. Той е идиоморфен, призматичен, тъмно масленозелен и бистър. По химизъм съответства на хромов херцинит с Al:Cr:Fe:Mg - 8,6:6,4:6,3:2,5 (табл. 2).

Всички минерали са кристализирали в една фаза, но антофилитът малко по-късно от енстатита.

### *Амфиболизирани пироксенити*

В зоналните обвивки около телата те имат характерна петнеста текстура и пъстър вид, поради появата на гнездовидни сегрегации от ясно зелен актинолит и чернозелен обикновен амфибол. Зараждането на новата минерална асоциация - талк, хлорит, актинолит, кварц и магнетит, започва по пукнатини в пироксена и антофилита. С напредване на заместителния процес се появява и поедрокристален амфибол, който пресича талк-хлоритовите жилки.

Амфиболът е моноклинен, по оптични белези близък до актинолита - светлозелен със слаб плеохроизъм,  $\gamma$  с 17-18°, но по химизъм съответства на магнезиева хорнбленда (Leake et al., 1997), преходен към тремолит-актинолитовата група, поради ниското съдържание на

Таблица 1

Химичен състав на пироксенити и амфиболити при с. Жерка, Източни Родопи

Table 1

Chemical composition of pyroxenites and amphibolites - Zherka village, Eastern Rhodopes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sample	819a	819b	819c	819g	819a	820b	820g	820d	820a	831 .	2003
SiO <sub>2</sub>	50,91	50,40	53,98	68,81	52,67	49,94	64,93	57,55	52,01	50,92	44,97
ÖiO <sub>2</sub>	0,08	0,11	0,18	0,55	0,12	0,21	0,44	0,57	0,08	0,16	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,24	2,88	2,56	14,57	16,55	6,28	13,14	15,58	6,80	18,05	8,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,12	6,03	3,41	1,17	2,03	4,48	2,24	3,31	3,61	3,82	7,87
FeO	7,20	7,10	3,43	3,11	3,03	6,95	3,42	4,43	5,11	4,18	2,03
MnO	0,14	0,18	0,10	0,06	0,09	0,20	0,10	0,12	0,16	0,12	0,14
MgO	27,32	26,00	19,88	1,38	8,87	24,98	2,53	5,76	18,01	7,27	18,60
CaO	4,39	4,74	13,67	5,82	13,28	3,96	11,30	8,44	11,81	12,37	11,80
Na <sub>2</sub> O	0,40	0,43	0,43	3,26	0,87	0,28	1,03	3,16	0,38	1,08	1,56
K <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,14	0,43	0,16	0,07	0,10	0,25	0,04	0,26	0,66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,03
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,10	0,15	0,25	0,19	0,20	0,19	0,20	0,35	0,75	0,4	0,16
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,95	1,80	1,80	0,41	1,90	2,18	0,35	0,40	1,10	1,15	1,95
Сума	99,93	99,90	99,86	99,83	99,81	99,76	99,82	99,97	99,92.	99,85	99,60
ppm											
Cr	1933	1955	1556	20	510	3000	37	27	1644	20	1545
Ni	608	527	220	5	87	1100	14	23	244	28	210
Co	73	76	45	7	23	68	13	22	53	33	46
V	89	118	178	65	124	40	122	224	176	20	165
Rb	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Sr	20	20	20	673	83	20	89	347	20	72	20
Ba	80	80	80	80	80	80	80	80	80	85	80
Zr	68	41	37	70	40	15	76	44	36	32	40
Li	2	2	2	3	3	2	3	3	6	6	2
Hf	0.5	0.4	0.2	3.07	0.57	nd	1.25	1.12	nd	8.93	nd
Sc	36.2	37.2	85.6	12.4	41.1	nd	16.0	25.3	nd	34.0	nd
La	1.1	0.54	0.92	25.9	0.9	nd	3.5	3	nd	0.7	nd
Ce	3.1	3.5	6.8	64.3	4.8	nd	0.0	0.0	nd	0.0	nd
Sm	0.1	0.1	0.1	3.0	0.2	nd	1.2	1.5	nd	0.1	nd
Eu	0.	0.1	0.17	1.31	0.12	nd	0.45	0.44	nd	0.0	nd
Tb	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	nd	0.0	0.0	nd	0.0	nd
Yb	0.7	0.6	1.2	2.4	0.5	nd	1.7	1.2	nd	0.47	nd
Lu	0.24	0.3	0.45	0.37	0.24	nd	0.3	0.34	nd	0.27	0.27
Σ RRE	5.3	5.1	9.6	100.3	6.7	nd	7.2	6.5	nd	1.5	

Образци: 819a - пироксенит; 819b - слабо амфиболизиран пироксенит; 819c - силно амфиболизиран пироксенит; 819g - мигматизиран амфиболит; 819e - фелдшпатизиран пироксенит - амфиболошист с масивна текстура; 820b - пироксенит; 820g - гранатов амфиболит; 820d - амфиболов гнайс; 820e - гранат-актинолитов шист; 831 - мигматизиран амфиболит; 2003 - амфиболошист с масивна текстура.

Samples: 819a - pyroxenite; 819b - slightly amphibolized pyroxenite; 819c - intensely amphibolized pyroxenite; 819g - migmatized amphibolite; 819e - feldspathized pyroxenite-amphibolite with massive structure; 820b - pyroxenite; 820g - garnet amphibolite; 820d - amphibole gneiss; 820e - garnet-actinolite schist; 831 - migmatized amphibolite; 2003 - amphibolite with massive structure.

Анализите са извършени в Геологическия институт на БАН от: А.Панайотова, М. Велинова - силикатен анализ; В. Драгостинова, В. Коларова, Т. Ненова, Г.Панайотов - редки и разсеяни елементи; Л. Даиева - редки земи.

Таблица 2

Представителни химични анализи на минерали от метаморфозирани офиолити

Table 2

Representative chemical analyses of minerals from metamorphosed ophiolites

Sample	pyroxenes				spinel		plagioclases	
	820b	24b-core	24b-rim	34	820b-core	820b-rim	895	19b
SiO <sub>2</sub>	56,40	53,82	52,66	49,21	0,89	0,20	43,61	60,48
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,09	0,21	0,41	0,12	0,03	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80	4,02	4,57	4,15	28,91	54,91	35,52	24,77
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,07	0,05	0,15	32,19	9,23	0,00	0,00
FeO	11,91	10,71	12,81	12,47	29,85	21,02	0,09	0,22
MnO	0,37	0,21	0,31	0,19	0,10	0,10	0,00	0,00
MgO	30,30	16,60	15,61	9,55	6,61	13,63	0,00	0,00
CaO	0,19	12,95	12,97	22,71	0,03	0,08	20,81	6,69
NiO	0,11	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CoO	0,09	0,04	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,15	0,76	0,97	0,74	0,00	0,00	0,24	7,32
K <sub>2</sub> O	0,00	0,19	0,20	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
ZrO <sub>2</sub>	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,59	0,00	0,00
Total	100,63	99,64	100,36	99,79	99,00	99,79	100,29	99,50
Formula								
Si	1,984	1,972	1,938	1,885	0,224	0,043	8,082	10,801
Ti	0,000	0,002	0,006	0,012	0,023	0,005	0,000	0,000
Al	0,033	0,174	0,199	0,187	8,628	14,093	7,760	5,213
Cr	0,003	0,002	0,002	0,005	6,445	1,588	0,000	0,000
Fe	0,351	0,328	0,394	0,400	6,322	3,828	0,015	0,320
Mn	0,011	0,007	0,010	0,006	0,020	0,018	0,000	0,000
Mg	1,589	0,907	0,856	0,545	2,492	4,425	0,000	0,000
Ca	0,007	0,508	0,511	0,932	0,008	0,018	4,133	1,279
Ni	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003
Zr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,095	0,000	0,000
CATS	3,996	3,969	3,995	4,034	24,216	24,112	20,084	19,860
OXY	6,000	6,000	6,000	6,000	32,000	32,000	32,000	32,000

820b - енстатит от слабо амфиболизиран пироксенит; 24b - авгит от метасоматизиран пироксенит; 34 - диопсид от амфиболит; 820b - шпинел: Cr-херцинит (пикотит); 820b - плеонаст; 895 - анортит от пегматизиран пироксенит; 19b - андезин от метасоматизиран амфиболит.

820b - enstatite from slightly amphibolized pyroxenite; 24b - augite from metasomatized pyroxenite; 34 - diopside from amphibolite; 820b - spinel: Cr-hercynite (picotite); 820b - pleonaste; 895 - anortite from pegmatized pyroxenite; 19b - andesine from metasomatized amphibolite.

алкалии - Alk-0,18-0,35 и Al<sup>IV</sup> 0,83-0,89. Съставът на амфибола е твърде непостоянен и се изменя чувствително дори в рамките на един индивид. Оставяйки в полето на магнезиевата хорнбленда, той се приближава както към чермакита, така и към тремолит-актинолитовата група.

В най-външните реакционни зони, където амфиболизацията е по-напреднала, амфиболът придобива оптичните белези на обикновения амфибол - наситено оцветяване, ясен плеохроизъм,  $\gamma_c$  22-24°, по химизъм е също магнезиева хорнбленда, но набогатена на алкалии: Alk - 0,35-0,47 и на алуминий Al<sup>IV</sup> - 0,9-1,0.

Кварцът, освободен при заместването на пироксена от амфибол, образува клиновидни индивиди.

Шпинелът в зоните на хлоритизация се разпада на клиновидни срастъци, състоящи се от кафяв, бистър плеонаст с Al:Cr:Fe:Mg - 1,45:1,25: 3,70:4,55 и руден минерал - хромит или магнетит. Често шпинелът показва зонално устройство - в центъра е зелен хромов херцинит, заобиколен от кафяв хромист плеонаст.

Във всички реакционни зони на пироксенитовите тела, присъстват реликти от енстатит и антофилит, чието количество постепенно намалява в периферните им части.

#### Пегматоидни амфиболошисти

Образуват се в участъци на пегматитово насищане, където гъста разклонена мрежа от жилите втора генерация, процепва и заграбва късове от амфиболизираните пироксенити (фиг. 4). Формират се разнообразни блокови и агматитови текстури (фиг. 5). Включените сред пегматита ултрабазични късове прекристаллизират в тъмнозелени, крупнозърнести амфиболошисти с масивна текстура, описани от Д. Кожухаров (1968) като ортоамфиболити, подложени на мигматизация.

Амфиболът е късопризматичен, на дължина до 1-1,5 см. Често в центъра на кристалите са запазени кородирани реликти от ромбичен и моноклинен пироксен. Много характерни са пластин-

Таблица 3

Представителни химични анализи на амфиболити от метаморфозирани амфиболити

Table 3

Representative chemical analyses of amphiboles from metamorphosed ophiolites

No	820b	895	24a	19b
SiO <sub>2</sub>	51,63	49,65	47,83	40,97
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,15	0,54	1,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,60	8,64	8,84	14,47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,85	0,24	0,56
FeO	5,98	8,48	6,40	16,27
Mn	0,07	0,15	0,05	0,25
MgO	18,64	16,04	18,38	9,81
CaO	12,65	12,33	12,81	11,75
Na <sub>2</sub> O	0,69	0,81	1,80	2,11
K <sub>2</sub> O	0,13	0,01	0,66	0,86
ClO	0,00	0,00	0,00	0,05
F	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Formula	98,11	97,12	97,55	98,67
T-Si	7,171	7,064	6,798	6,074
Al	0,829	0,936	1,202	1,926
C-Al	0,416	0,515	0,280	0,606
Cr	0,063	0,095	0,027	0,066
Fe <sup>3</sup>	0,237	0,196	0,217	0,280
Ti	0,015	0,016	0,057	0,174
Mg	3,857	3,406	3,893	2,168
Fe <sup>2</sup>	0,407	0,767	0,523	1,691
Mn	0,004	0,009	0,003	0,016
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
B-Mg	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2</sup>	0,051	0,047	0,020	0,046
Mn	0,004	0,009	0,003	0,016
Ca	1,882	1,880	1,950	1,867
Na	0,063	0,064	0,027	0,071
A-Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,122	0,160	0,470	0,537
K	0,023	0,002	0,120	0,162
CATS	15,145	15,162	15,590	15,699
OXY	23,000	23,000	23,000	23,000

820b - магнезиева-хорнбленда от слабо амфиболизиран пироксенит; 895 - магнезиева-хорнбленда от пегматизиран пироксенит; 24a - еденит от метасоматизиран пироксенит; 19b - магнезиев-паргасит от метасоматизиран амфиболит

820b - magnesio-hornblende from slightly amphibolized pyroxenite; 895 - magnesio-hornblende from pegmatized pyroxenite; 24a - edenite from metasomatized pyroxenite; 19b - magnesio-pargasite from metasomatized amphibolite

чатите диабласти прораствания от илменит, възникнали при заместването на пироксена от амфибол. Химичният състав на амфибола в центъра на кристала е магнезиева хорнбленда, но по периферията му се появява наситено оцветена синьозелена ивица от еденит с  $Al^{IV} - 0,75-1,26$  и  $Alk - 0,42-0,62$ .

В най-външните зони на блоковите включения, които са в непосредствена близост с пегматита, се образува зона с дебелина от 1-2 до 8-10 см, с по-тъмен чернозелен цвят, изградена от дребнокристален амфибол - еденит, флогопит, плагиоклаз със силно вариращ състав, калиев фелдшпат, авгит, титанит, ортит, кварц.

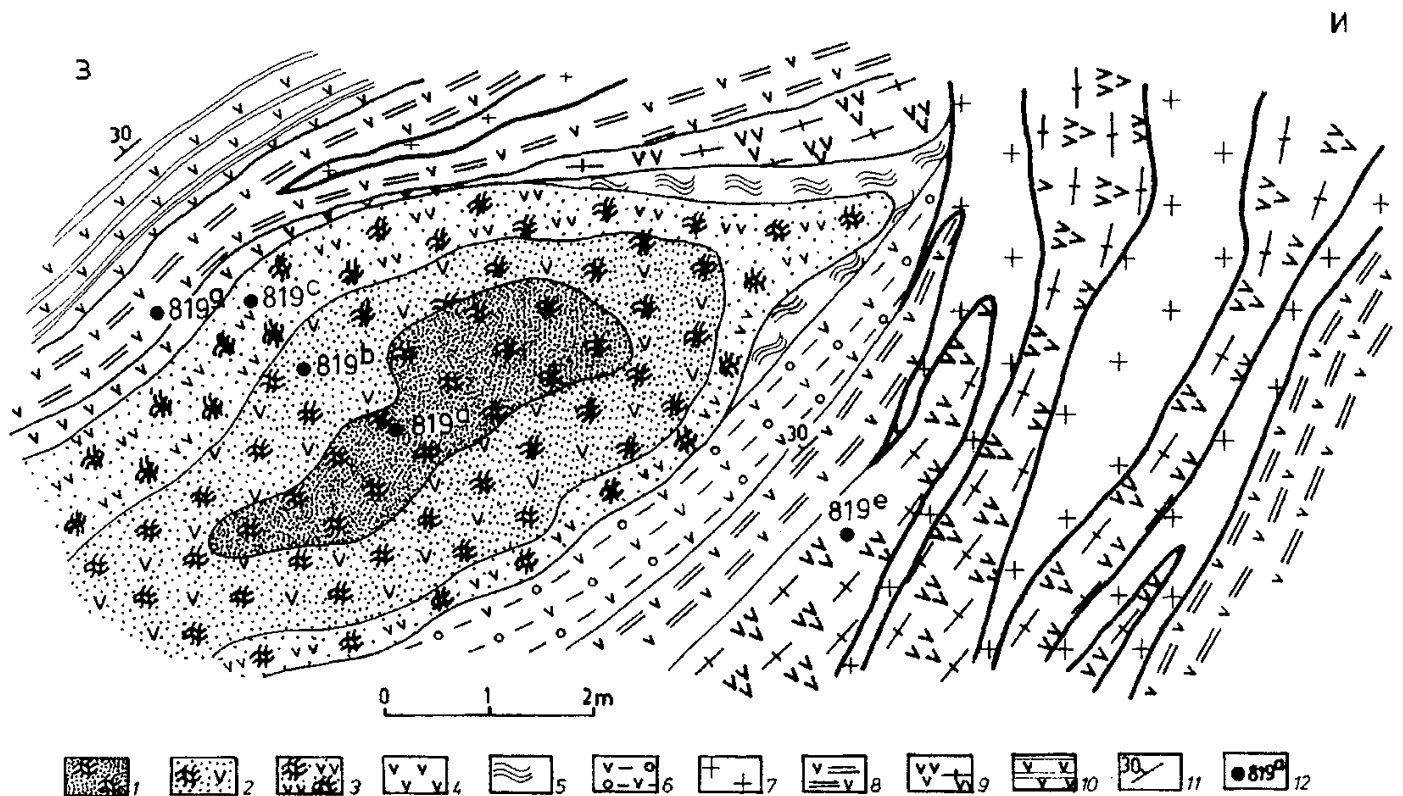
### Метасоматични габроиди

Те се образуват при най-високата степен на пегматитизация и хомогенизация на смесения материал, което довежда до

пълната асимилация на ултрабазитите. Метасоматитите са едрозърнести, светли, пъстри скали, с масивна текстура. Изградени са предимно от плагиоклаз и амфибол при подчинено участие на титанит, ортит, кварц, калиев фелдшпат, хлорит и магнетит. Разпределението на минералите е крайно неравномерно. Оформят се гнездови сегрегации от фелдшпати или амфибол. Самият плагиоклаз също е с вариabilен състав от олигоклаз-андезин до анортит (табл. 2). Чести са реакционните структури на заместване. Проникващите пегматити са десилицирани, както това се наблюдава и на други места в Родопите и Рила (Арнаутов, 1976).

### Метаморфозирани базични офиолити

Базичните метаофиолити - амфиболитите са вместиращата среда за пироксенито-



Фиг. 2. Реакционна зоналност на пироксенитово тяло - зарисовка 1 от фиг.1: 1 - пироксенит; 2 - слабо амфиболизиран пироксенит; 3 - силно амфиболизиран пироксенит; 4 - амфиболит; 5 - талк-хлорит-актинолитов шист; 6 - гранатов амфиболит; 7 - пегматит; 8 - фелдшпатизиран амфиболит с петнеста текстура; 9 - едрозърнест амфиболов шист; 10 - амфиболов гнайс; 11 - елементи на залягане на пластовете; 12 - място и номер на образец Fig 2. Reaction zonation of pyroxenite body - draft 1 in Fig. 1: 1 - pyroxenite; 2 - slightly amphibolized pyroxenite; 3 - intensely amphibolized pyroxenite; 4 - amphibolite; 5 - talc-chlorite-actinolite schist; 6 - garnet amphibolite; 7 - pegmatite; 8 - feldspathized amphibolite with speckled structure; 9 - coarse-grained amphibolite; 10 - amphibole gneiss; 11 - position of beds; 12 - location and number of sample



вите тела. По степен на промяна се различават: пироксен-гранатови амфиболити, съдържащи реликтови минерали, обикновени дребнозърнести тънкослойни немигматизирани амфиболити, послойно мигматизирани амфиболити и метасоматични диоритоиди.

Амфиболитите като цяло изграждат тънки до няколко дециметра пластове от редуващи се дребно до среднозърнести разновидности: пироксенови, гранат-пироксенови, епидотови. Рядко сред тях се срещат тънки няколкосантиметрови на дължина до един метър прослой от калкошисти. Основният минерален състав се представя от плагиоклаз и амфибол.

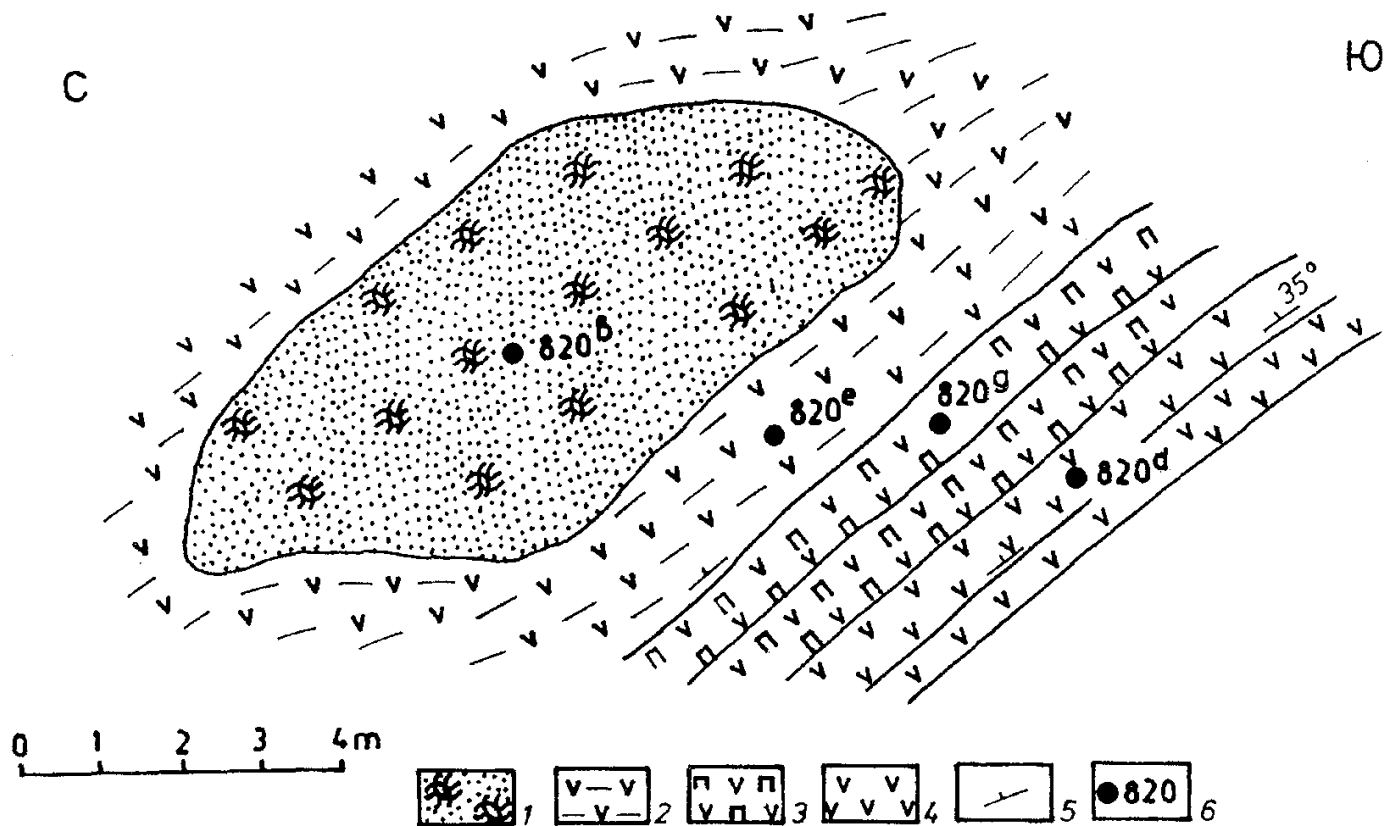
### Пироксен - гранатови амфиболити

Те са тънкослойни и съдържат реликтови минерали от по-стара метаморфна фаза. Изглежда, че те маркират зони на интерламинарни движения между скали с различни реологични свойства, тъй ка-

то най-често се намират в основата на пироксенитовите тела (фиг. 2 и 3). Освен това сред тях често се наблюдават гнезда от финозърнест пироксен, оконтурени от гранат и амфибол, подобни на тези, срещани при амфиболизираните еклогити.

Гранатът присъства в две генерации. Първата е преддеформационна, реликтова. Гранатовите порфирокласти са разчупени, ротирани, замътнени от многобройни фини пукнатини. Те са обтечени и заместени от по-късна парагенеза от амфибол, плагиоклаз, кварц и титанит. Втората генерация гранат израства сред кварц-фелдшпатови ивици в атолни форми, с идиоморфни външни очертания. Той е бистър, прорасъл с кварц и изпълнен с включения от акцесорни минерали. Не носи следи от деформация. По химизъм е алмандин-гросуларов тип -  $Alm_{50}Grs_{28}Pyr_{18}Sp_3And_1$ .

Пироксенът също се явява в две генерации. Първата е реликтова и е представена от ромбичен и моноклинен пироксен, подобен на описания при

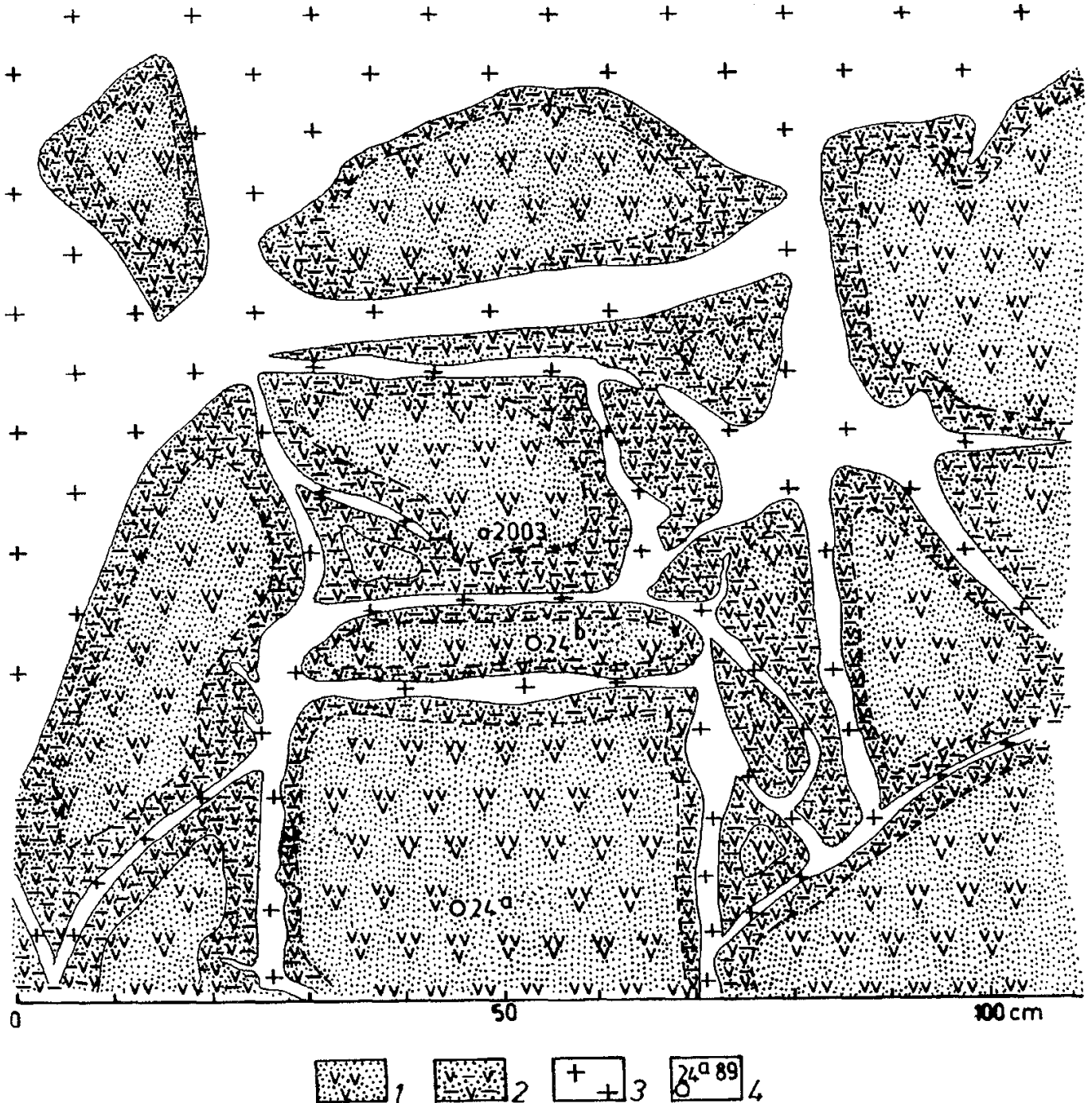


Фиг. 3. Реакционна зоналност на пироксенитово тяло - зарисовка 2 от фиг.1: 1 - пироксенит; 2 - гранат-актинолитов шист; 3 - гранатов амфиболит; 4 - амфиболов гнайс

Fig. 3. Reaction zonation of pyroxenite body - draft 2 in Fig. 1: 1 - amphibolized pyroxenite; 2 - garnet-actinolite schist; 3 - garnet amphibolite; 4 - amphibole gneiss.

пироксенитите. Ромбичният пироксен по класификацията на Morimoto et. al. (1988) е феросилит -  $En_{42-46}Fs_{52-54}Wo_{2-4}$ . Съдържанието на хром (Cr-0,005) е по-ниско от това при пироксените от ултрабазичните скали (табл. 2). Моноклинният пироксен е диопсид, преобладаващ към хеденбергит. Натриевото съдържание (Na-0,75) е по-

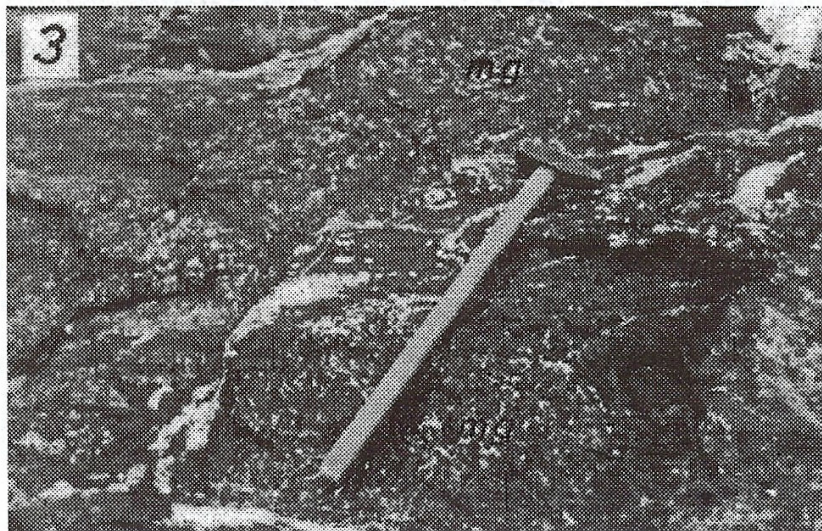
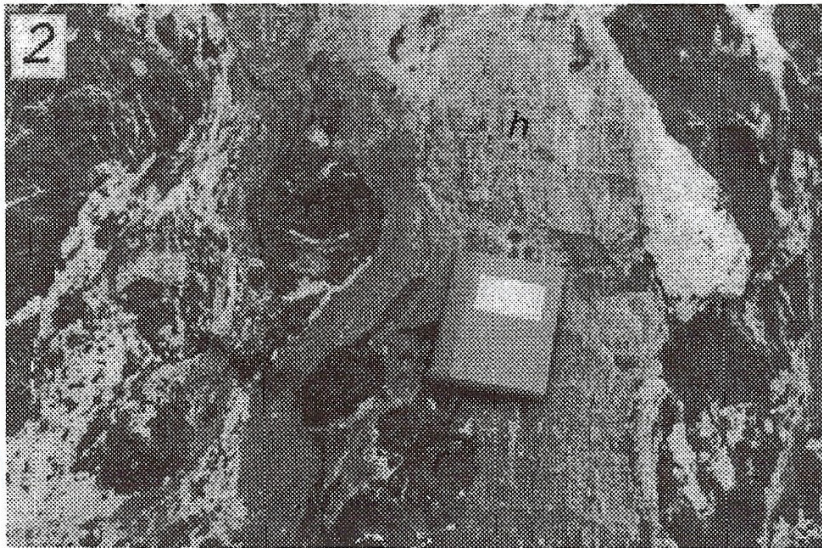
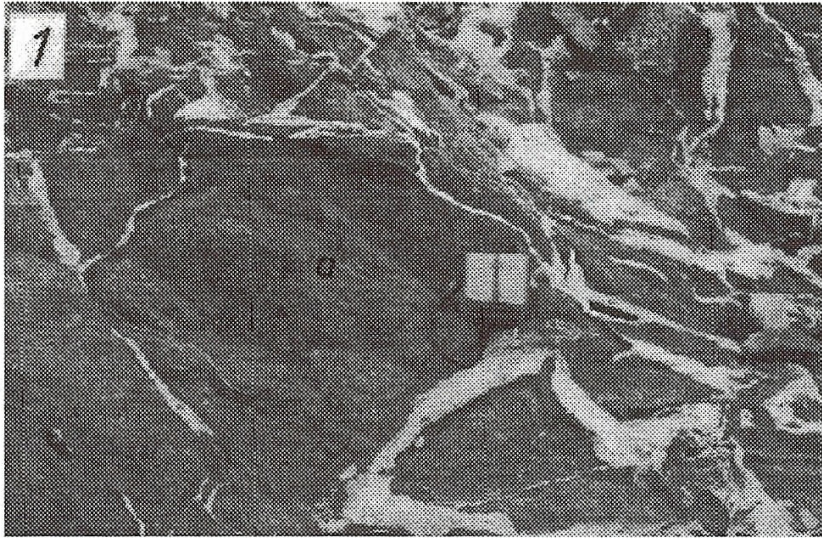
високо от това при ултрабазичните пироксенити. И двата пироксена се заместват по деформационни зони - заливообразно или зонално от магнезиева хорнбленда и плагиоклаз, при което се оформят разнообразни псевдоморфни структури: кокардови, мирмекитоподобни диабластови прораствания и др. При



Фиг. 4. Блокове от амфиболизиран пироксенит, включени в пегматитова жила от втора генерация - зарисовка 4 от фиг.1: 1 - едрозърнест амфиболит с реликти от пироксени; 2 - флогопитов амфиболит; 3 - пегматит; 4 - място и номер на проба

Fig. 4. Blocks of amphibolized pyroxenites, included in pegmatite vein of second generation - draft 4 in Fig.1: 1 - coarse grained amphibololite with relicts of pyroxenes; 2 - phlogopite amphibolite; 3 - pegmatite; 4 - location and number of sample

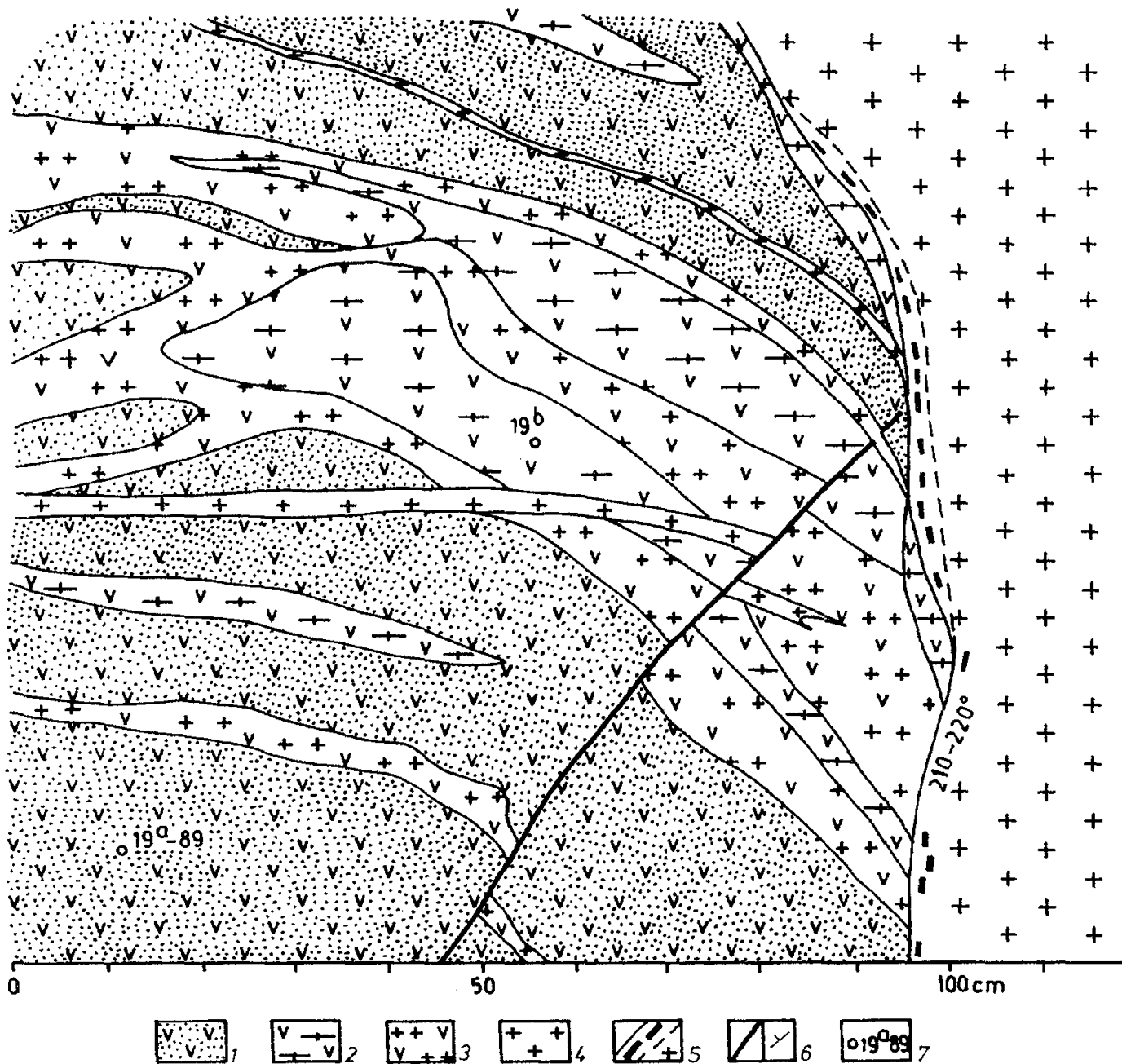




Фиг. 5. Метаморфозирано ултрабазично тяло, пресечено от мрежести пегматитови жили от втора генерация. 1 - формиране на блокови и агматитови структури в едрозърнести амфиболизирани пироксенити (а); 2 - заместване на амфиболизирани пироксенити от пегматитова жила. Реликти от амфиболизирани пироксенити (г) сред метасоматични хибридни амфиболови гнайси (h) с ориентирана текстура; 3 - фелдшпатизирани амфиболизирани пироксенити, превърнати в едрозърнести метасоматични габроиди (mg)

Fig. 5. Metamorphozed ultrabasic body, intersected by branched pegmatite veins of second generation. 1 - forming of block and agmatite structures into the coarse-amphibolized pyroxenites (a); 2 - replacement of amphibololites by pegmatite vein. Relics of pyroxenites amongst the metasomatic hybrid amphibole gneiss (h) with oriented texture; 3 - feldspathized pyroxenites, transformed into coarse-grained metasomatic gabbroides (mg)





Фиг. 6. Мигматизирани амфиболити от послойни пегматитови жили от първа генерация - зарисовка 3 от фиг. 1: 1 - слабо фелдшпатизирани амфиболити; 2 - фелдшпатизирани амфиболити; 3 - интензивно фелдшпатизирани амфиболити; 4 - пегматит от трета генерация; 5 - реакционна зона; 6 - а) тектонска зона, б) елементи на залягане на пластове; 7 - място и номер на образец

Fig. 6. Migmatized amphibolite by interlayered pegmatite veins of first generation - draft 3 in Fig. 1: 1 - slightly feldspathized amphibolite; 2 - feldspathized amphibolite; 3 - intensely feldspathized amphibolite; 4 - pegmatite of third generation; 5 - reaction zone; 6 - a) fault, b) position of beds; 7 - location and number of sample

заместването на феросилита се отделят множество сноесто-лъчести агрегати от магнетит. Една късна жилна генерация от светлозелен диопсид, заедно с епидот, плагиоклаз и кордиерит запълва пукнатини, пресичащи амфиболитите.

В прослой с повишено калциево съдържание - възможно асимилирани пре-

дишни калкошисти, се установява минерална асоциация от плагиоклаз (андезин-лабрадор), епидот- $Ps_{18-20}$ , диопсид - втора генерация, еденит с повишено калциево съдържание,  $Ca/(Ca+Na+K) = 0,70-0,77$ , скаполит-миционит-( $Me$  65-75%) и др.

### *Послойно мигматизирани амфиболити*

Те са една от най-характерните разновидности в участъка. Мигматизацията следва амфиболизацията без видима деформация. Пегматитовият материал прониква послойно насищайки неравномерно отделните нива (фиг. 6). Високата пластичност на средата е запечатана в многобройни гънки. Ясно забележима е фелдшпатизацията и прекристализацията на амфиболитите. Появяват се ивичести, а при по-интензивно пегматитово импрегниране, и средно до едрозърнести биотит-амфиболови гнайси със слабо шистозна до масивна текстура в отделни прослой (фиг. 6). Минералната асоциация се състои главно от плагиоклаз (андезин-лабрадор), еденит и флогопит, а в отделни случаи и кварц. Скалите имат богат акцесорен състав: апатит, рутил, титанит, ортит, циркон, руден минерал. Общата тенденция на изменението е насочена към фелдшпатизация и приближаване към диоритоподобен минерален състав.

### *Метасоматични диоритоиди*

Най-висока степен на пегматитова асимилация на базичните офиолити се достига при амфиболовите блокове, попаднали в зоните на пегматитовите жили от втора генерация. Успоредно с обилната фелдшпатизация се извършва цялостна прекристализация. Метасоматичните диоритоиди обикновено са средно до едрозърнести светли скали с масивна, но неравномернозърнеста текстура. Отделни участъци са по-дребнозърнести, други крупнозърнести - пегматоидни. Скалите са съставени от: плагиоклаз с непостоянен състав, вариращ от олигоклаз до лабрадор, с общо количество 50-60%, амфибол - магнезиев паргасит или еденит, биотит, хлорит, кварц, а на места и калиев фелдшпат. Неравномерното разпределение на минералите, непостоянния състав на плагиоклаза, както и общо неравновесната минерална асоциация, издават контаминационния характер на скалите.

След пълната консолидация на

терена, скалната серия е била процепена от най-късни праволинейни пегматитови жили (фиг.6), с посока североизток - югозапад. Тези пегматити не встъпват в активни обменни реакции с вместващите скали. Само в залбандите им, на разстояние до 4-5 cm от границата с амфиболитите, се появяват редки кристали от амфибол (паргасит), пикнохлорит и епидот, асоцииращи с олигоклаз и калиев фелдшпат.

Амфиболитовата скална серия е покрита от биотитови шисти, съдържащи кианит в две генерации. В непосредствена близост с пегматитовите жили от втора генерация се появява парагенезата биотит + плагиоклаз + кварц + гранат + везувиан + скаполит + кордиерит.

### **Етапи в метаморфното развитие на офиолитите**

Различават се три главни етапа в минераложкото и геохимично развитие на офиолитите (фиг 7).

Първи етап - високобаричен. Представен е в реликтов вид при ултрабазитите - от пироксенитите, а при базитите - от гранат-пироксеновите амфиболити. Скалите са засегнати и частично заместени от по-късните метаморфни промени. Запазената в реликтов вид парагенеза ромбичен пироксен ( $En_{80-84}$ ) + моноклинен пироксен-авгит ( $Wo_{30}En_{60}Fs_{10}$ ) + шпинел (Cr херцинит) + антофилит, според изследванията на редица автори (Evans, Trommsdorf, 1970; Trommsdorf, Evans, 1972; Мюлер, Саксена, 1980; Винклер, 1979), определят температура на кристализация над  $730^{\circ}C$  като други допускат дори  $775-800^{\circ}C$  (Перчук, Рябчиков, 1976; Spear, 1993). Като се има предвид присъствието на алуминиев (Al-8,6) шпинел в парагенезата и съдържанието на алуминий (Al-0,05-0,09) в енстатита, то съгласно Маракушев (1988), кристализацията е протекла при  $T$   $770-780^{\circ}C$  и  $P$  15 kbar. Същите стойности за налягането 15 kbar, за парагенезата алуминиев енстатит ( $Al_2O_3$  - 1%) + шпинел определя и Мак Грегор (MacGregor, 1974). Температура над  $780-800^{\circ}C$  и налягане до 13-14 kbar за

rocks	I stage	II stage			IIIstage
	pyroxinites	amphibolized pyroxinites	pegmatized amphibololites	metasomatic gabbroides	
minerals					
enstatite	██████████	.....			
augite	██████████	.....	██████████		
diopside	██████████				
antophyllite	██████████	.....			
spinel	██████████	██████████			
talc		██████████			██████████
chlorite		██████████			
actinolite		██████████			
Mg hornblende		██████████	██████████		
edenite			██████████	██████████	██████████
plagioclase			██████████	██████████	
quartz		██████████	██████████	██████████	
phlogopite			██████████	██████████	
titanite			██████████	██████████	
orthite			██████████	██████████	
magnetite		██████████	██████████	██████████	
	Px-Gt amphibolites	amphibolites	migmatized amphibolites	metasomatic dioritoides	
enstatite	██████████	.....			
diopside	██████████	██████████			
garnet	██████████	██████████	██████████		
Mg hornblende		██████████	██████████		
edenite		██████████	██████████		
Mg-pargasite			██████████	██████████	██████████
epidote		██████████	██████████	██████████	██████████
scapolite		██████████			
plagioclase		██████████	██████████	██████████	
quartz		██████████	██████████	██████████	
phlogopite			██████████	██████████	
chlorite			██████████	██████████	██████████
rutile		██████████	██████████		
titanite			██████████	██████████	
orthite			██████████	██████████	
K feldspar			██████████	██████████	
magnetite		██████████	██████████	██████████	

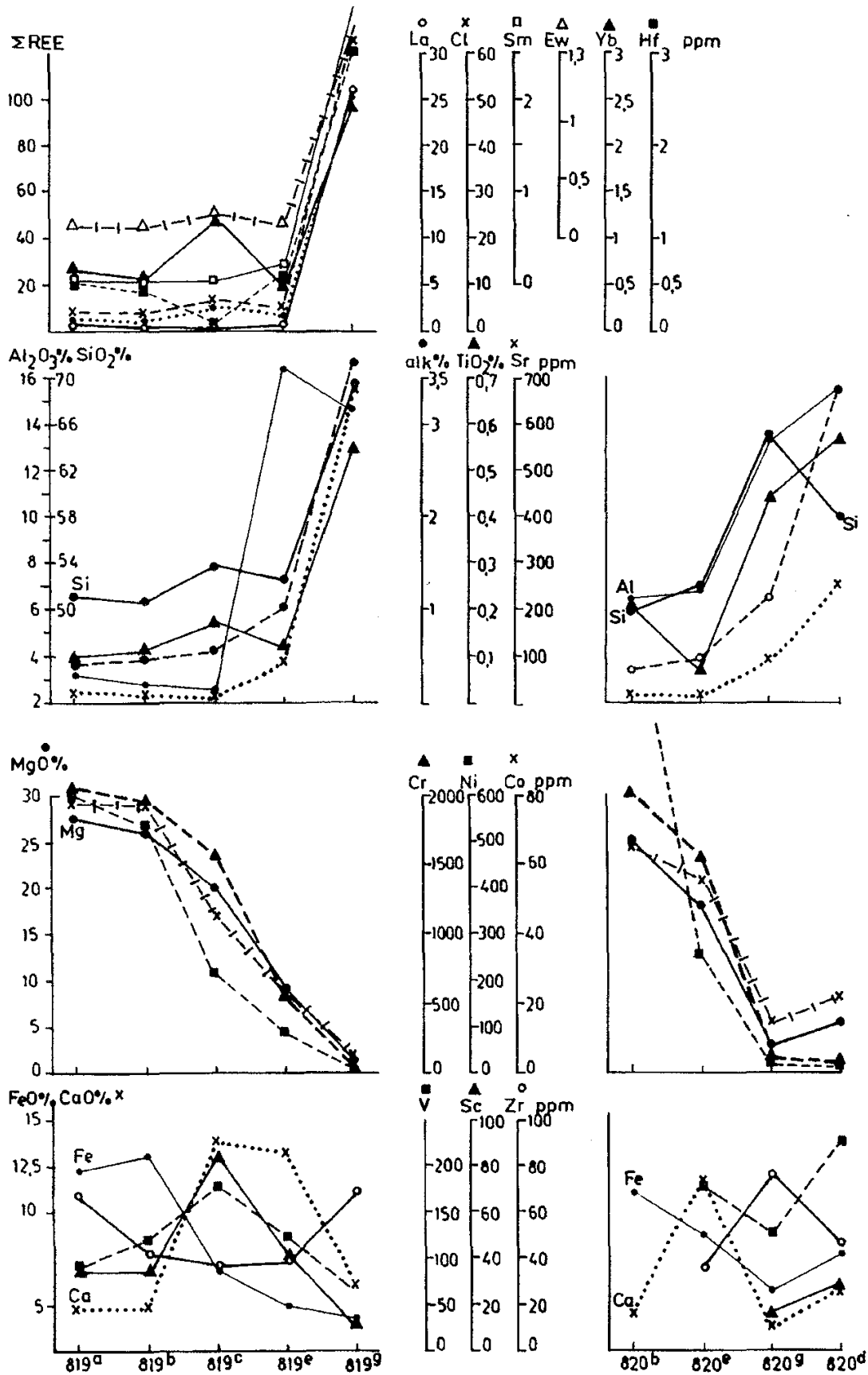
Фиг. 7. Етапи на метаморфизъм  
Fig. 7. Stages of metamorphism

асоциацията: моноклинен пироксен и шпинел се посочва и в други източници (Bucher, Frey, 1994).

При базичните метаморфити - амфиболитите е запазена частично реликтовата парагенеза: гранат ( $Alm_{48-50}Grs_{27-29}Pyr_{17-19}$ ) + моноклинен пироксен - диопсид ( $Wo_{49-50}En_{29-30}Fs_{18-20}$ ) + ромбичен пироксен ( $En_{55-60}$ ), за която според минералогическите геотермобарометри

(Перчук, 1970; Lindsly, 1983) се получават стойности  $T$  740-780°C и  $P$  10-12 kbar. Повишеното съдържание на натрий (Na 0,75) в моноклинния пироксен вероятно също е известно отражение на по-високбарични условия на кристализация.

Следователно реликтовите парагенези както при ултрабазичните, така и при базичните офиолитови метаморфити са указание за еклогитов фацис, ре-

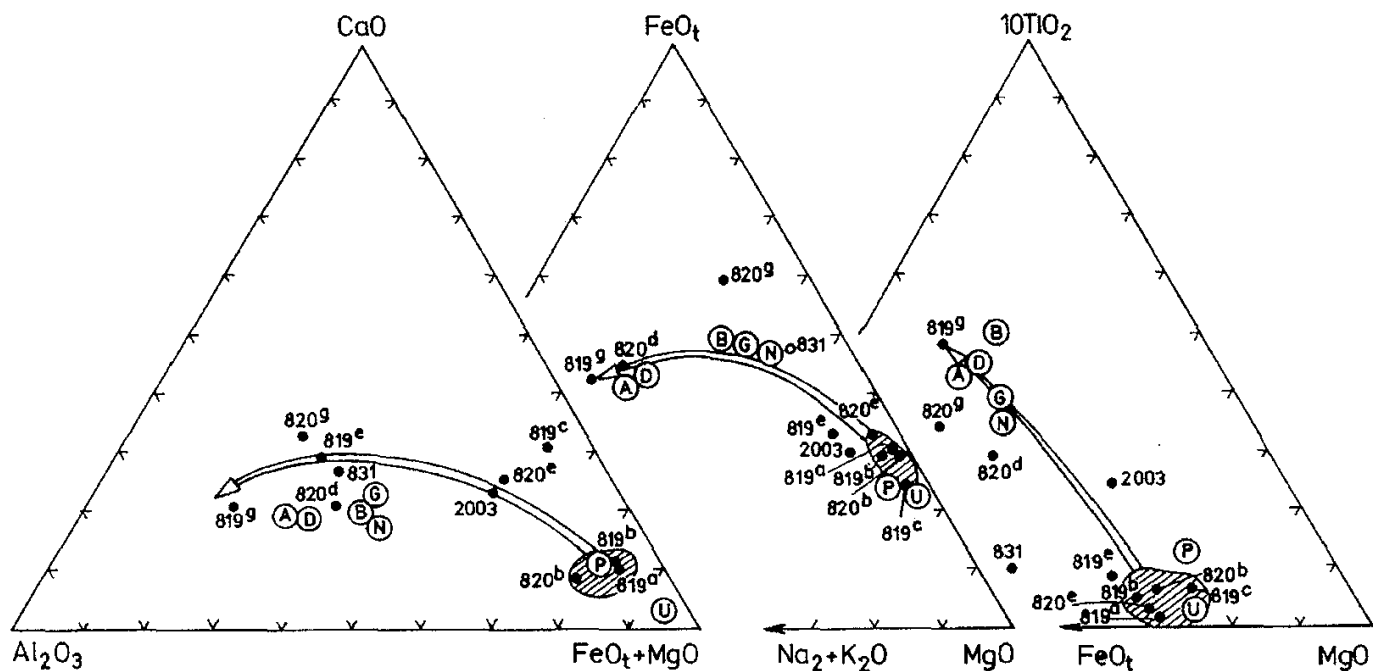


Фиг. 8. Вариационни диаграми за петрохимичните изменения в реакционните зони на пироксенитовите тела  
 Fig. 8. Variation diagrams of the petrochemical alteration in the reaction zones of the pyroxenite body

ализиран през първия метаморфен етап, протекъл при условия  $T$  750-800°C,  $P$  10-12 kbar и ниско парциално налягане на

водата, регистрирано в формирането на почти безводни парагенези.

Структурно-деформационно събитие



Фиг.9. Трикомпонентни диаграми, илюстриращи метасоматичните изменения на пироксенитите. Сравнителни еталонни образци: U - дунити; P - пироксенити; N - норити; G - габра; B - базалти; D - диорити; A - андезити  
 Fig.9. Three-component diagrams, illustrating the metasomatic alterations of pyroxenites. Standard comparative samples: U - dunites; P - pyroxenites; N - norites; G - gabbros; B - basalts; D - diorites; A - andesites

разделя първия метаморфен етап от следващите, маркирано чрез крехки и пластични деформации: нарушение на кристалната решетка на пироксените, дезинтеграция на пироксените и гранатите, ротация на последните и др.

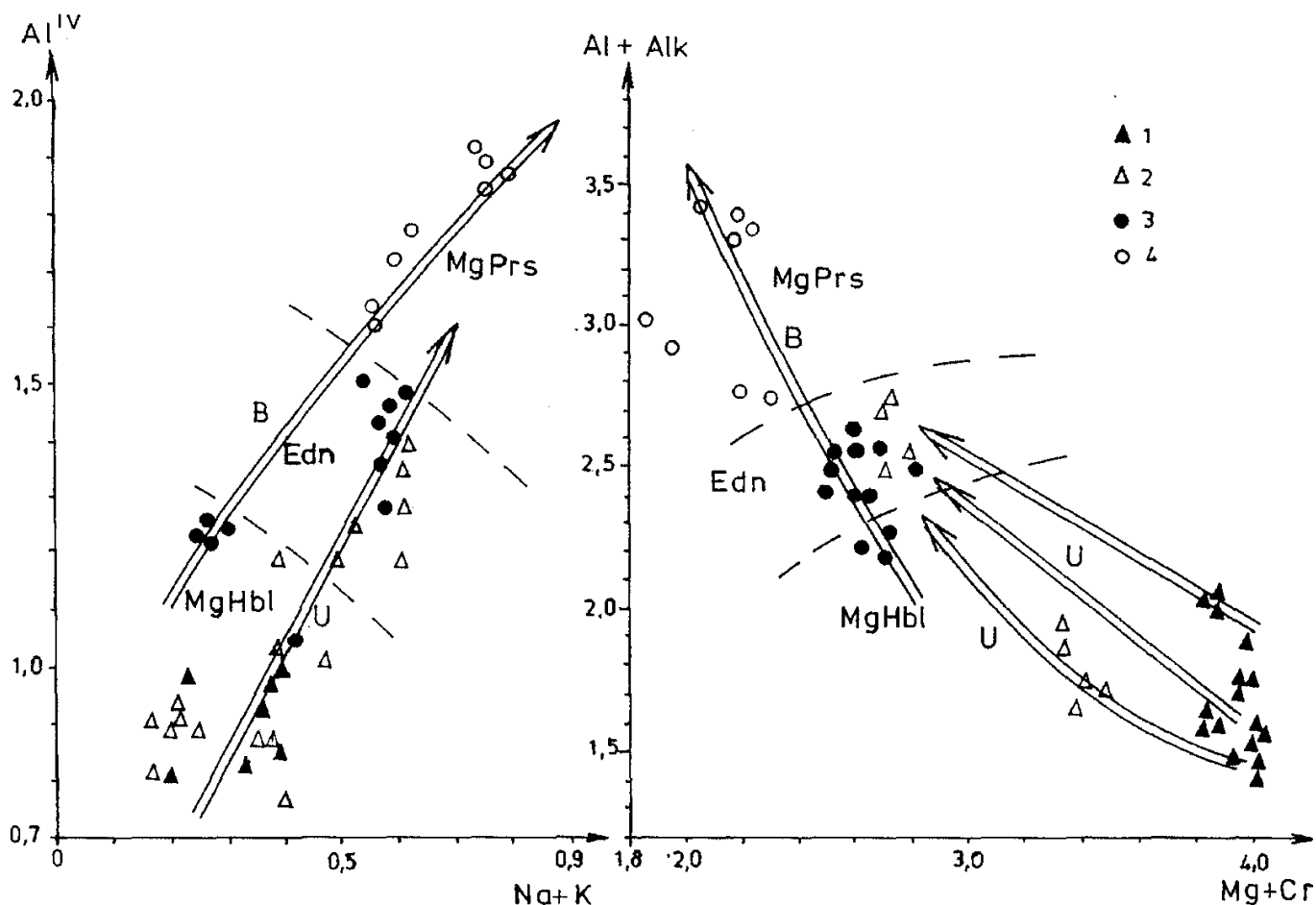
Вторият - постдеформационен етап е времето на активните веществени изменения. Според степента на тяхната ефективност, етапът би могъл да се раздели условно на три фази, които бележат прогресивно развитие на метаморфизма от зеленошистен до амфиболитов фациес, кулминиращ в мигматизация и пегматизация на скалите. Първата фаза е регресивна спрямо първия високобаричен етап и протича в основни линии изохимично, но при повишено парциално налягане на водата. Почти безводните реликтови минерални парагенези се заместват по разривни зони от по-нискотемпературни и хидроксилсъдържащи минерали (фиг. 7), които според теоретичните постановки (Verma, 1988; Spear, 1993), характеризират условия на образуване: T 500-600°C и P 3-5 kbar. При следващите фази, успоредно с повишение на температурата до 630-660°C, се извършва пегматоидната фелдшпатиза-

ция на офиолитовите метаморфити, което в крайната фаза довежда до превръщането им в скали с габродиоритов състав (фиг.8).

Смяната на минералния състав предизвиква съществени изменения и в химизма на метаморфитите. Освен хидратация, се регистрира значително нарастване количеството на силиций, алуминий, алкалии, титан и стронций, като същевременно спада съдържанието на магнезий, хром, никел и кобалт (фиг 9). Редките земи имат по-стабилно поведение, запазвайки своето индикативно значение за ултрабазичното родство на амфиболите шисти и едва при фелдшпатизацията, рязко повишават своята концентрация в скалата.

Показателно е също развитието на амфибола в отделните фази. С увеличаване на алуминия и алкалиите, при същевременно намаляване на магнезия и хрома, амфиболът преминава от актинолит в магнезиева хорнбленда и достига до еденит (фиг. 10). По аналогичен начин протичат измененията и при базичните съставки на офиолитите. Поради различията в изходния състав на скалите, амфиболът от първата фаза на





Фиг. 10. Изменение в състава на амфиболи от: 1 - амфиболизирани пироксенити; 2 - пегматизирани пироксенити; 3 - амфиболити; 4 - мигматизирани амфиболити  
 Fig.10. Variation in the amphibole composition from: 1 - amphibolized pyroxenites; 2 - pegmatized pyroxenites; 3 - amphibolites; 4 - migmatized amphibolites

втория етап е магнезиева хорнбленда, а крайният член е магнезиев паргасит (фиг. 7). Ясно проявена е конвергенцията в геохимичната еволюция на амфибола (фиг. 10)

Пълната схема на развитие и асимилация на ултрабазичните офиолитите следва реда: серпентинити - пироксенити - амфиболови шисти - метасоматични габродиорити.

Както вече се изтъкна метасоматичните габродиорити със своята масивна или слабо шистозна текстура външно напомнят на магматични скали, особено когато се разглеждат в отделни образци, откъснати от конкретните разкрития. Но дори и тогава неравновесната минерална парагенеза, съчетаваща плагиоклази от олигоклаз до анортит с високомагнезиални амфиболи с различна степен на алуминиево съдържание, както и неравномерното гнездово разпределение на ми-

нералите в скалата и реакционните взаимоотношения между тях, издават техния метасоматичен произход. Маракушев (1989) обръща внимание на създаването на хибридни скали от типа на диорити и габро и широкото развитие на алохимични метаморфни промени при асимилацията на ултрабазичен субстрат от гранитова магма.

Очевидно най-активни обменни реакции, при висок химичен потенциал на компонентите, протичат при ултрабазичните елементи на офиолитите, поради контрастните различия в състава между тях и пегматитите. Обект на асимилация, обаче вероятно са били и карбонатни скали, чието предишно присъствие проличава по все още съхранени тънки слоеве от калкошисти и появата на висококалциеви епидотови и скаполитови амфиболити.

Вторият етап завършва с консолиди-

ране на терена и деформация. Третият етап е маркиран с появата на късните - трета генерация пегматитови жили, проникващи по праволинейни руптурни канали, без смесване с околните скали.

## Дискусия и заключение

Метаморфната еволюция на офиолитовите фрагменти в Родопския масив е продължителен и многофазов процес, преминал през променящи се термодинамични условия. В разглеждания участък Жерка той е представен в своята крайна фаза - мигматизацията и асимилацията на офиолитите след етапа на еклогитизация. Самата еклогитизация, която в Белоречкото подуване и Авренската синклинала - Източни Родопи е документирана в пълната ѝ последователност от самото зараждане, тук се установява само по реликтите от пироксенити. Би могло да се приеме, че превръщането на ултрабазитите в пироксенити е преди всичко дехидратация на серпентинитите и по същество изохимична прекристализация.

Активните биметасоматични реакции между ултрабазични-базичните съставки на офиолитите и вместиращите скали и особено с пегматит-аплитовите жили, променят съществено първичния им състав и довеждат в крайната фаза до пълната им асимилация. Безводните, окисните и карбонатните фази изчезват и се заменят със силикатни, голяма част от които съдържащи хидроксилна група - например, амфиболът като един от главните минерали в метасоматичните габродиорити.

Основен фактор за промяната на офиолитите са пегматит-аплитовите жили. Първата генерация послойни жили по морфология и характер на пластичната деформация съответстват на мигматичните инжекции, свързани с регионалния метаморфизъм, докато втората генерация - секущи жили биха могли да бъдат свързани с по-късен гранитов магматизъм. И двата вида пегматити при активни взаимодействия с офиолитите довеждат до тяхната асимилация.

Асимилацията на офиолитите през време на регионалния метаморфизъм и

мигматизацията или под въздействието на пегматит-аплитови деривати от гранитова магма по отделни зони, е много по-широко проявен процес в Родопския масив, отколкото сме свикнали да го забелязваме. Взаимодействието между контрастните по химичен състав офиолити и пегматити има конвергираща тенденция по отношение на изходния състав на реагиращите среди. Метаморфизмът заличава ефектите от магматичната и седиментна диференциация на веществото и усреднява състава на скалните формации.

*Благодарности.* Авторът благодарни на д-р Димитър Кожухаров за съвместните теренни изследвания и предоставения материал, на д-р Стефка Приставова за съдействието при изготвянето на геоложката карта и на д-р Милко Каназирски за критичното прочитане на ръкописа на статията. Изследването е подкрепено от НФНИ договор НЗ-623.

## Литература

- Арнаутов, В. 1976. Десилицирани пегматити от Рила планина. - *Год. СУ, геология*, **68**, 1, 129-147.
- Винклер, Г. 1979. *Генезис метаморфических пород*. М., Недра, 327с.
- Кожухаров, Д. 1968. Стратиграфия на докамбрийските метаморфни комплекси в Централните Родопи. *Автореф. докт. дис.* Геофонд Геол. Инст. БАН.
- Кожухаров, Д. 1993. *Обяснителна записка към геоложката карта на България в М 1:100 000, к.л. Комотини*. Изд БАН, 48 с.
- Кожухарова, Е. 1977. Образование двухфазальных минеральных парагенезисов при региональном метаморфизме докамбрийских серпентинитов в Западных Родопах. - *Геохим. минерал. и петрол.*, **7**, 47-63.
- Кожухарова, Е. 1984. Происхождение и структурное положение серпентинизированных ультрабазитов докембрийской офиолитовой ассоциации в Родопском массиве. у Геологическое положение и состав офиолитовой ассоциации. - *Geologica Balc.*, **14**, 9-36.
- Маракушев, А. А. 1988. *Петрогенезис*. М., Недра, 292 с.
- Маракушев, А. А. 1989. Магматизм и метаморфизм. - В: В. А. Жариков (ред.)

- Физико-химической анализ процессов минералообразования. М. Наука. 7-22.
- Мюллер, Р., Саксена, С. 1980. *Химическая петрология*. М., Мир, 516 с.
- Перчук, Л.Л. 1970. *Равновесия породобразующих минералов*. М. Наука, 301 с.
- Перчук, Л. Л., Рябчиков, И. Д. 1976. *Фазовое соответствие в минеральных системах*. М., Наука, 287 с.
- Berman, R. G. 1988. Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ . - *J. Petrol.*, **29**, 445-522.
- Bucher, K, Frey, M. 1994. *Petrogenesis of the Metamorphic Rocks*. Berlin Springer., 287 pp.
- Evans, B., Trommsdorff, V. 1970. Regional metamorphism of ultramafic rocks in the Central Alps. Paragenesis in the system  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ . - *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **50**, 481-492.
- Kozhoukharova, E. 1996. New data for the geologic position of the Precambrian ophiolitic Association in the Rhodope Massif. - *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **49**, 1, 57-60.
- Kozhoukharova, E. 1997. Synmetamorphic metasomatic gabbroids in the ophiolites from East Rhodope block. - *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **50**, 6, 83-86.
- Leake, B. E. 1978. Nomenclature of Amphiboles. - *Mineral. Mag.*, **42**, 533-563.
- Leake, B. E. et al. 1997. Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the IMA Commission on New Minerals and Mineral Names. - *Eur. J. Mineral.*, **9**, 623-651.
- MacGregor, I. D. 1974. The system  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ : Solubility of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in enstatite-spinel and garnet peridotite compositions. - *Am. Mineral.*, **59**, 110-119.
- Lindsly, D. H. 1983. Pyroxene thermometry. - *Am. Mineral.*, **68**, 477-493.
- Morimoto, N., et al. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineral. Mag.* **52**; 535-550
- Spear, F. S. 1993. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. - *Miner. Soc. of Amer.*, Monograph. 800 pp.
- Trommsdorff, V., Evans, B. W. 1972. Progressive metamorphism of antigorites schist in the Bergell tonalite aureole (Italy). - *Amer. J. Sci.*, **272**, 487-509.

Приета на 08.06.1998 г.  
Accepted June 8, 1998